

STOCKAGE DU CARBONE & RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GES

# QUELLES SONT LES PRATIQUES les plus efficaces ?

Hélène Lagrange - [h.lagrange@arvalis.fr](mailto:h.lagrange@arvalis.fr)  
Anne-Sophie Perrin - [as.perrin@terresinovia.fr](mailto:as.perrin@terresinovia.fr)  
Morgane Henaff - [mhenaff@agrosolutions.com](mailto:mhenaff@agrosolutions.com)

**Cultures intermédiaires, prairies temporaires, agroforesterie intraparcellaire, fertilisation modifiée, légumineuses... Une dizaine de leviers sont mobilisables en grandes cultures pour favoriser le stockage du carbone dans le sol et diminuer les émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole.**

**E**n 2018, selon les inventaires du Citepa<sup>(1)</sup> le secteur agricole contribuait à hauteur de 19 % aux émissions françaises de gaz à effet de serre (GES). Ce secteur

est notamment le principal contributeur aux émissions de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), avec 88 % de ces dernières.

Selon les objectifs de la Stratégie nationale bas-carbone, afin d'arriver à la neu-

tralité carbone en 2050, les émissions de GES du secteur agricole doivent être diminuées de moitié. À cette fin, le maximum de leviers de réduction connus devra être mis en œuvre.



*Pour parvenir à la neutralité carbone en 2050, un maximum de leviers déjà connus et applicables en grandes cultures devront être actionnés par les agriculteurs.*

## L'ÉVOLUTION DES MATIÈRES ORGANIQUES DANS LE SOL MODÉLISÉE

AMG est un modèle de bilan humique développé par INRAE, Agro-Transfert, Arvalis et le LDAR, en collaboration avec Terres Inovia. Il est décliné dans différents outils (SIMEOS-AMG ou CHN-AMG par exemple) qui simulent l'impact de changements de pratiques sur le stockage du carbone dans les sols. Il peut ainsi aider à choisir les leviers adaptés à la parcelle et à l'exploitation pour augmenter ce stockage.

Plus d'informations dans l'article : « Systèmes de culture innovants : évaluer l'évolution du statut organique des sols », Perspectives Agricoles n°466, mai 2019.

Le stockage de carbone dans les sols devra, quant à lui, compenser les émissions restantes. Actuellement, à l'échelle de la France, les sols cultivés déstockent du carbone (-170 kg C/ha/an<sup>(1)</sup>). Les leviers mobilisables pour augmenter le stockage du carbone dans les sols - ou au moins limiter son déstockage - sont bien connus.

Globalement, toutes les pratiques qui restituent davantage de biomasse au sol augmentent les stocks de carbone.

Des études scientifiques ayant effectué la synthèse des travaux expérimentaux permettent de quantifier les impacts des différentes pratiques. L'étude « 4 pour 1000 » d'INRAE<sup>(2)</sup> apporte ainsi des informations sur les potentiels d'amélioration atteignables à l'échelle de la France entière, par la mise en œuvre de leviers applicables en grandes cultures (tableau 1).

Sur l'exploitation, les chiffres diffèrent de ceux du tableau en fonction du contexte pédoclimatique et des pratiques antérieures. Le stockage étant réversible, les pratiques vertueuses doivent être pérennisées. Des estimations plus précises de l'impact des leviers peuvent être réalisées à l'aide d'outils utilisant des modèles de simulation du bilan humique tel que le modèle AMG (encadré).

(1) D'après l'étude INRAE (Sylvain Pellerin et al. 2020) réalisée pour l'ADEME et le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation : « Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? ». Le rapport complet est consultable sur <http://arvalis.info/25x>. Plus d'informations dans l'article précédent.

### Un potentiel important associé aux cultures intermédiaires

Dans les zones vulnérables, la directive Nitrates n°91/676 a imposé une généralisation de la couverture automnale des sols depuis 2012, avec toutefois de nombreuses dérogations. Or, en France il reste possible d'allonger la durée des cultures intermédiaires déjà présentes et d'en implanter là où il n'y en a pas encore.

Ces mesures concernent les cultures intermédiaires « pièges à nitrates » (CIPAN), qui sont entièrement restituées au sol, mais aussi les cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) qui, malgré

leur récolte, restitueront des racines et des chaumes qui contribueront aux apports de carbone au sol.

Les restitutions de biomasse par les cultures principales peuvent aussi constituer un levier d'action, via les pailles ou les choix d'espèces ; le colza associé, le colza et le maïs étant en première ligne. L'insertion de nouvelles prairies temporaires ainsi que le développement de prairies artificielles (luzerne, trèfle violet) ou de prairies multi-espèces riches en légumineuses est également efficace.

### De nouvelles ressources de matières organiques exogènes

Les matières organiques exogènes - produits résiduels organiques (PRO) ou matières fertilisantes d'origine résiduelle (MAFOR) - incluent toutes les matières organiques qui ne sont pas directement issues de la parcelle cultivée sur laquelle elle est apportée. Actuellement, à l'échelle du pays, la quasi-totalité des effluents d'élevage et une partie non négligeable des autres PRO, sont déjà épandus sur les sols agricoles.

#### STOCKAGE DU CARBONE : des leviers agronomiques efficaces existent

LEVIER	POTENTIEL DE STOCKAGE sur l'épaisseur 0-30 cm
Augmenter la quantité de biomasse restituée par les couverts végétaux	+ 126 (± 93) kg C/ha/an en moyenne • Intégration des couverts : + 174 kg C/ha/an • Extension des couverts : + 16 kg C/ha/an
Augmenter les restitutions par les cultures (résidus, augmentation de la production de biomasse par unité de surface)	+ 210 kg C/ha/an en moyenne (de 30 à 250 kg C/ha/an) comparé à des parcelles sans restitution des résidus
Augmenter les apports de matières d'origine résiduelle (MAFOR)	• Composts : + 500 kg C/ha/an (en moyenne 38 % du C apporté par les composts d'effluents d'élevage sont stockés ; 40 à 42 % pour les composts de déchets verts, de boues d'épuration ou de biodéchets) • Fumiers : + 300 kg C/ha/an (en moyenne 24 % du C apporté par des fumiers divers sont stockés, 36 % pour les fumiers de bovins) • Lisiers : + 100 kg C/ha/an (en moyenne 18 % du C apporté par les lisiers sont stockés) • Boues d'épuration : < + 100 kg C/ha/an (en moyenne 30 % du C apporté par les boues sont stockés)
Prairies temporaires et artificielles	• Allongement des prairies déjà présentes : + 28 kg C/ha/an (± 78 kg C/ha/an) • Insertion de 3 ans de prairies temporaires : + 466 kg C/ha/an (± 160 kg C/ha/an)

Tableau 1 Liste des leviers de stockage du carbone dans les sols applicables en grandes cultures. D'après l'étude de S. Pellerin et al. 2020<sup>(2)</sup>.



© Géraldine Cabeza-Orcel - UPTERRA

Ces leviers peuvent offrir d'autres bénéfices : diminuer l'IFT, réduire l'érosion des sols ou encore améliorer la biodiversité des organismes aériens et souterrains.

Le potentiel de stockage additionnel de ce levier concerne donc surtout les nouvelles matières exogènes, principalement issues du traitement des effluents de l'industrie agroalimentaire ou des biodéchets, à condition qu'ils soient conformes à la réglementation et ne posent pas de

(2) Rapport de l'étude INRAE réalisée pour le compte de l'ADEME, du MAAF et du MEDDE - Juillet 2013 : « Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques ». Le rapport complet est consultable sur <http://arvalis.info/25y>

problème d'acceptabilité sociale.

À l'échelle de la parcelle, tout apport de nouveau produit organique contribuera à augmenter le stockage de carbone dans le sol. L'augmentation du stock dépend de nombreux facteurs : la fréquence et les doses d'application, les caractéristiques de la matière organique apportée et les conditions pédoclimatiques.

### Comment réduire les émissions de gaz à effet de serre ?

L'étude INRAE Pellerin 2013<sup>(2)</sup> a identifié et chiffré les dix actions les plus efficaces et dont la mise en œuvre est possible par les agriculteurs (tableau 2 p.46).

En grandes cultures, les quantités de GES émises proviennent surtout de la fertilisation azotée : par des émissions directes au champ de N<sub>2</sub>O, mais aussi par des émissions indirectes en amont de l'exploitation, lors de la fabrication des intrants. Bien que minoritaire en quantité d'azote perdu, les émissions de N<sub>2</sub>O ont un effet de serre très puissant - environ 300 fois plus que le CO<sub>2</sub>. En productions végétales, les leviers identifiés visent à agir sur ces émissions de N<sub>2</sub>O. En plus de la baisse des quantités d'engrais azotés, l'application des bonnes pratiques d'apport constitue un levier pertinent pour réduire ces émissions. Certaines techniques permettent de limiter les pertes au moment des apports : le fractionnement (dont l'objectif est de synchroniser les apports avec les périodes de besoin de la culture), le respect des condi-

## LA RÉDUCTION DU TRAVAIL DU SOL NE MODIFIE PAS LES STOCKS DE CARBONE

Les méta-analyses les plus récentes étudiant l'effet de différents types de travail du sol sur le stockage du carbone concluent que le stockage additionnel dans la couche de surface des sols (0-30 cm) des systèmes de culture en semis direct serait beaucoup plus faible que ce qui avait été mis en avant il y a quelques années. Ce stockage additionnel est négligeable dans nos climats tempérés. La réduction du travail du sol ne constitue donc pas un levier permettant de stocker plus de carbone dans les sols. Il n'en reste pas moins intéressant pour répartir la matière organique en surface, et ainsi contribuer à la réduction des risques de battance ou d'érosion, par exemple.

## ÉMISSIONS DE GES : des changements de pratiques peuvent les réduire fortement

LEVIER	POTENTIEL DE RÉDUCTION
<b>FERTILISATION</b>	
<b>Réduire la dose d'azote minéral apportée</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustement de la dose prévisionnelle</li> <li>• Prise en compte des conditions climatiques</li> <li>• Utilisation d'outils de pilotage</li> <li>• Modulation intraparcellaire</li> </ul>	<b>Environ - 13 kg eqCO<sub>2</sub>/kg N minéral</b> (réduction d'émissions directes au champ et indirectes, liées à la fabrication)
<b>Améliorer l'efficacité de l'azote</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limiter la nitrification/dénitrification, la volatilisation et la lixiviation</li> <li>• Utiliser des inhibiteurs de nitrification</li> <li>• Chauler les sols acides (pour les pH<sub>eau</sub> faibles, afin d'atteindre une valeur de 6,8)</li> <li>• Utiliser des formes d'engrais moins émettrices</li> <li>• Enfouir les apports organiques et minéraux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Inhibiteurs de nitrification</b> : - 317 kg CO<sub>2</sub> eq/ha/an</li> <li>• <b>Substituer</b> 100 kg N d'urée par 100 kg N d'ammonitrate : - 114 kg eqCO<sub>2</sub>/ha/an</li> <li>• <b>Enfouissement</b> : - 219 kg eqCO<sub>2</sub>/ha/an</li> </ul>
<b>Modifier la rotation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduire des légumineuses ou des cultures/variétés à plus faible besoin en azote</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Jusqu'à - 2200 kg eqCO<sub>2</sub>/ha</b> pour une féverole, un pois, un soja ou un lupin en culture principale non fertilisée par rapport à une culture fertilisée comme le blé.</li> <li>• <b>Réduction de dose sur la culture suivante</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 200 kg eqCO<sub>2</sub>/ha pour un précédent soja ou pois ;</li> <li>- 1990 kg eqCO<sub>2</sub>/ha pour une luzerne ;</li> <li>- 1600 kg eqCO<sub>2</sub>/ha pour une prairie temporaire mixte avec trèfle</li> </ul> </li> </ul>
<b>COMBUSTIBLES FOSSILES</b>	
<b>Réduire la consommation associée aux engins et à l'irrigation</b> (fioul, GNR, gaz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>3,25 kg eqCO<sub>2</sub>/L</b> de GNR économisée</li> <li>• <b>Passage au banc d'essai moteur</b> pour une exploitation type de grandes cultures : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 7,2 L/ha</li> </ul> </li> <li>• <b>Écoconduite</b> : - 20 %, soit -16 L/ha</li> <li>• <b>Autoguidage RTK</b> sur betterave : - 2 à - 8 L/ha</li> <li>• <b>Passer du travail cultural simplifié au semis direct</b> : - 13 L/ha</li> <li>• <b>Révision ou changement de la pompe d'irrigation</b> : -0,29 kWh/m<sup>3</sup></li> </ul>
<b>Réduire la consommation associée au séchage et au stockage</b>	<b>Séchage en crib</b> d'1 ha de maïs grain par rapport à un séchage au gaz naturel de maïs grain à 25 % d'humidité : - 460 kg eqCO <sub>2</sub> /ha (- 6,5 GJ/ha de gaz pour le séchage, + 3,4 L/ha de GNR pour la récolte et le transport)

**Tableau 2** Leviers pouvant être utilisés pour réduire les émissions de GES sur les ateliers de grandes cultures, et estimations de leur efficacité. *Références : étude Pellerin et al. 2013, AGRIBALYSE, ECOALIM, ALPA, Couvreur, FDCuma53, CA Lorraine, Arvalis, CA Alsace.*

tions d'apport optimales (avant les pluies, afin de valoriser les apports), ou encore l'enfouissement.

Le choix des engrais peut également avoir un impact : on préférera les formes d'engrais avec inhibiteurs de la nitrification ou de l'hydrolyse de l'urée. Les propriétés physico-chimiques du sol ont aussi un effet sur ces émissions ; les pratiques limitant les tassements ou encore le recours au drainage réduisent les émissions de N<sub>2</sub>O. En outre, le pH du sol a un impact sur l'activité des micro-organismes responsables des émissions de N<sub>2</sub>O.

D'autres leviers sont efficaces à l'échelle, cette fois, de la rotation, comme l'introduction de légumineuses, afin d'augmenter l'autonomie vis-à-vis des engrais azotés et de diminuer les besoins en azote des cultures suivantes. Les résidus de culture et les couverts intermédiaires

peuvent être source de N<sub>2</sub>O lors de leur décomposition, en plus des émissions liées aux apports d'azote ; il est donc important de raisonner à l'échelle de la rotation.

Le CO<sub>2</sub> issu des combustibles fossiles constitue le deuxième poste d'émission des exploitations de grandes cultures. Réduire la consommation d'énergie fossile sur l'exploitation est donc un levier d'action non négligeable.

### Complémentarité et antagonisme des pratiques

Sur une exploitation, l'effet global des leviers est la résultante des effets des actions visant à favoriser le stockage de carbone dans les sols ou à réduire les émissions de GES. Certaines actions peuvent avoir des effets contradictoires vis-à-vis de l'objectif climatique. Ainsi,

la restitution des résidus de culture peut augmenter le stockage de carbone, mais être aussi responsable d'une augmentation des émissions de N<sub>2</sub>O. Autre exemple : la réduction de la fertilisation diminue les émissions de GES mais peut conduire à une baisse des rendements des cultures, et donc à une baisse des restitutions de carbone au sol. Il est donc nécessaire de comptabiliser systématiquement les deux composantes pour chaque levier et de combiner les actions utiles sur les deux volets (GES et stockage).

Il est également intéressant de noter que les leviers sélectionnés peuvent contribuer à des bénéfices associés, comme des diminutions d'IFT, la réduction de l'érosion des sols ou encore l'amélioration de la biodiversité des organismes aériens et souterrains. ■